



RADIACION SOLAR EN LA ZONA DEL PACIFICO. NICARAGUA, 1983

Por: JULIO LOPEZ DE LA FUENTE, S.J.

INTRODUCCION

El presente artículo comprende la presentación y análisis de la radiación solar, correspondiente al año 1983, en la zona del Pacífico de Nicaragua.

La red solar, con las estaciones actinométricas de 1a. y 2a. clase, está anclada en las cuatro localidades de Ocotal, Chinandega, Managua y San Carlos. Dicha red se extiende entre las latitudes ($13^{\circ} 37.5'$ y $11^{\circ} 7'$) Norte y las longitudes ($84^{\circ} 46'$ y $87^{\circ} 8'$) Oeste.

Estas localidades forman un triángulo con vértice en San Carlos y base entre Chinandega y Ocotal comprendiendo las cuencas de los dos grandes lagos y las planicies de León y Chinandega (fig. 1).

Nos ha parecido mejor presentar las mediciones solares de acuerdo al calendario anual, de modo que los futuros informes también se ajusten a este período (Enero – Diciembre) y así sea posible obtener fáciles comparaciones estadísticas a lo largo de un semiciclo de las manchas solares.

Con respecto a la estación Vadstena en Ma-

nagua, aportamos información sobre las radiaciones global, difusa, directa y el brillo solar. Mientras en las otras tres sólo se mide la irradiación global mediante integradores móviles.

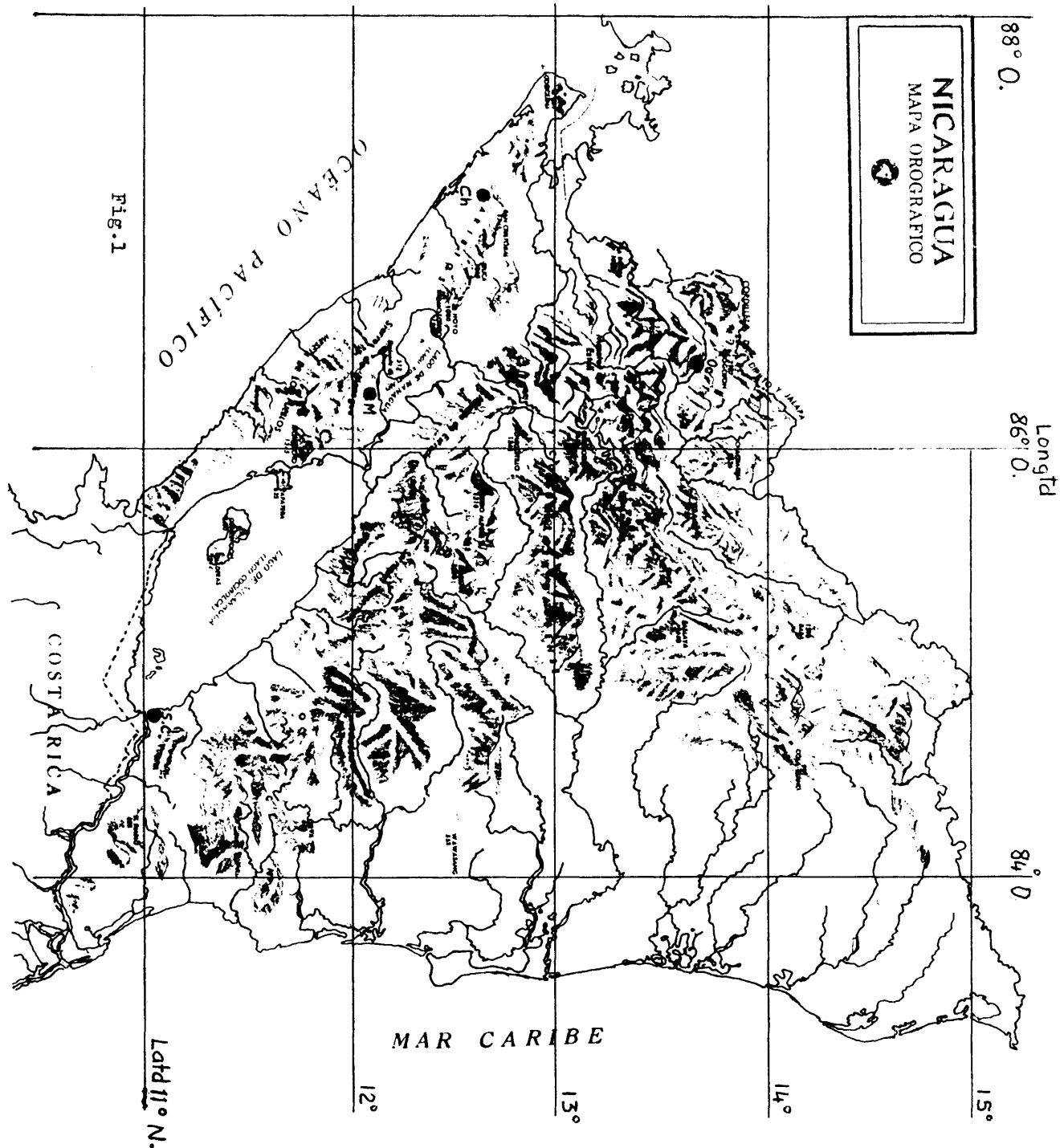
1. RADIACION GLOBAL EN LA ZONA DEL PACIFICO.

En la Tabla I se han recopilado las mediciones de la irradiación global correspondiente a las cuatro estaciones de la zona del pacífico. Así es posible apreciar los niveles energéticos solares a lo largo del año 1983 y compararlos entre sí.

Claramente vemos las siguientes consideraciones:

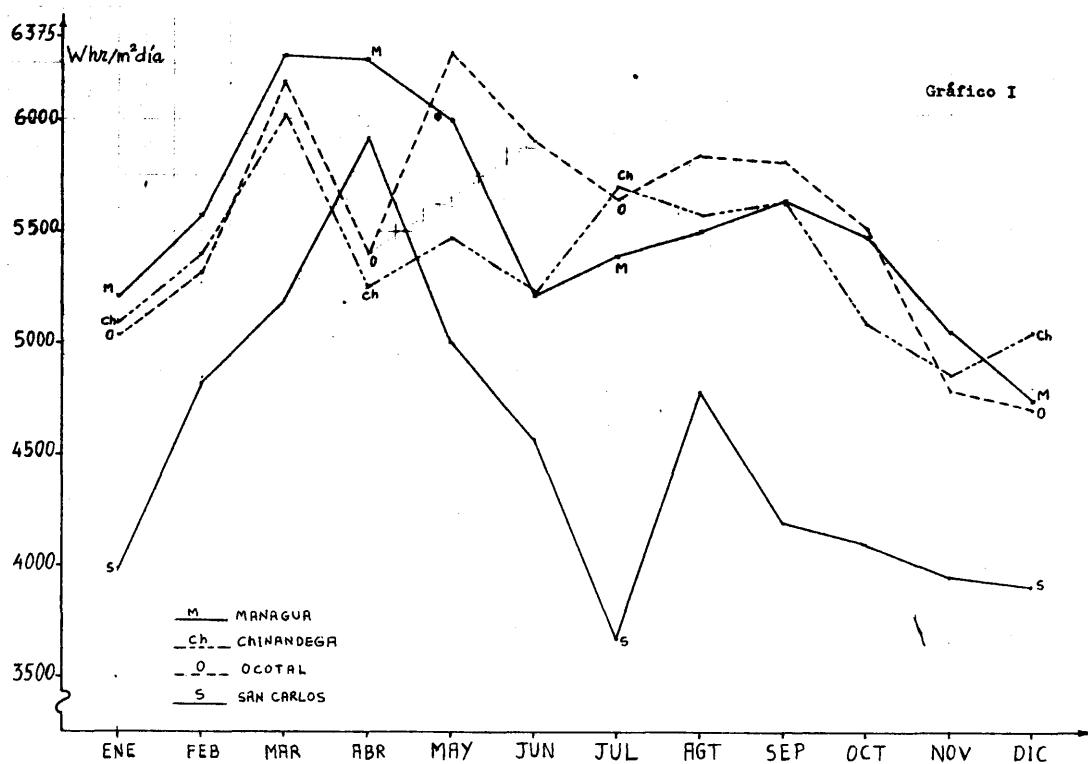
- a) La cantidad total anual es prácticamente la misma en Managua, Chinandega y Ocotal con un monto de 2 MW hr/m^2 .
- b) En San Carlos hay una considerable disminución de unos 350 KW hr/m^2 anuales, con respecto a las otras tres localidades. ($\sim -17.5\%$).

	Ocotal	Chinandega	Managua	San Carlos
Latitud N.	13° 37.5'	12° 38'	12° 6'	11° 7'
Longitud O.	86° 28'	87° 8'	86° 15'	84° 46'
Alt. s.n.m.	612 mts	60mts	132 mts	40 mts



1983	MANAGUA			CHINANDEGA			OCOTAL			SAN CARLOS		
	W hr/m ² . día			W hr/m ² . día			W hr/m ² . día			W hr/m ² . día		
	MAX.	MEDIO	MIN.	MAX.	MEDIO	MIN.	MAX.	MEDIO	MIN.	MAX.	MEDIO	MIN.
ENR	6153	5211	3054	6127	5083	2158	6201	5033	2327	5954	3988	1689
FEB	6542	5575	4172	6292	5400	3863	6319	5323	3152	6432	4822	1900
MARZ	7183	6283	3632	7241	6023	3704	7234	6170	3890	7052	5194	2827
ABR	7192	6273	4559	6971	5277	2130	7179	5410	3117	7033	5927	4059
MAY	7191	6000	3521	6539	5471	3976	7389	6303	3940	7260	5001	1341
JUN	6700	5221	1812	6819	5226	3291	7375	5914	3954	7287	4576	2125
JUL	6870	5401	1683	7236	5702	1739	7513	5648	2833	6261	3670	1112
AGT	7168	5506	1462	7317	5583	2627	7542	5846	2730	7235	4783	2622
SEP	7055	5641	2418	6120	5634	4011	7340	5822	4421	6719	4197	2396
OCT	6833	5484	3695	6449	5087	3208	7072	5521	3750	6597	4102	1805
NOV	6301	5055	1765	5870	4860	1707	6177	4787	4019	5988	3951	1272
DIC	5905	4747	1954	5906	5054	3419	5867	4706	2784	5548	3913	2561
Σ/12	6758	5533	2810	6574	5367	2986	6934	5540	3410	6614	4510	2142
TOTAL ANUAL	2019.54 KW hr/m ²			1958.80 KW hr/m ²			2022.17 KW hr/m ²			1646.27 KW hr/m ²		

T A B L A No. 1.



- c) Ocotál, con sus 600 mts. de elevación s.n.m. presenta los máximos diarios más notables (7542 Whr/m². día). Con todo, el valor medio de los máximos mensuales (6758, 6574, 6934, 6614 Whr/m². día) es bien constante para las cuatro estaciones (~ 5.5 % máx. diferencia).
- d) Mayor contraste aparece entre el valor medio de los mínimos mensuales (2810, 2986, 3410, 2142 Whr/m². día), alcanzando una diferencia del 37% y correspondiendo a San Carlos el mínimo anual de 1112 Whr/m². día durante el mes de Julio. Esto confirma la fuerte temporada de lluvias durante el "invierno tropical" en la parte S. E. de Nicaragua.
- e) El valor medio anual (5533, 5367, 5540, 4510 Whr/m². día) se mantiene constante para Ocotál, Chinandega y Managua; pero hay una disminución en San Carlos del 18%, en correspondencia con b).

El Gráfico I representa los valores medios mensuales de la Tabla I, visualizando el comportamiento anual de la irradiación global en la zona del Pacífico.

Durante los meses claros del verano tropical, Noviembre-Marzo, los valores medios en Ocotál, Chinandega y Managua se mantienen muy parejos; diferenciándose más cada mes a medida que aumenta la nubosidad y durante el "invierno tropical".

Por otra parte, el comportamiento de la irradiación global en San Carlos sigue un patrón diferente, aunque se acerca al de Managua durante los meses Febrero-Junio; es notable el descenso del nivel energético durante Julio. Como bien se sabe, la precipitación media anual en San Carlos alcanza los 1800 mm., mientras en Managua se sitúa alrededor de 1200 mm. (ver informe climatológico de Thornthwaite, período 1954-1973).

Sin embargo, la información sobre la irra-

diación global y el brillo solar en Las Mercedes (Managua) y Ocotál, según el informe de Thornthwaite, dan valores de integración gráfica sensiblemente más bajos (13 a 18 %) que los actualmente medidos en 1983 con piranómetros. La razón puede estar en la menor precisión y sensibilidad que poseen los actinógrafos anteriormente utilizados (Robitzsch y Campbell-Stokes).

Por consiguiente, nos queda por esperar los informes sucesivos de los próximos años, para poder afirmar con base estadística la magnitud de los niveles energéticos solares en la zona del Pacífico. Con todo, poseemos ya una buena estimación a partir de la Tabla I y una visual apreciación en el Gráfico I.

2. ESTACION VADSTENA, Managua.

La estación actinométrica Vadstena, de la clase y localizada en la Universidad Centroamericana por común acuerdo INE-UCA, proporciona una información solar muy completa.

Las mediciones son tomadas cada seis segundos, durante las veinte y cuatro horas, mediante un procesador de datos HP-3479A y calculadas con un computador HP-85.

Sobre el Gráfico II se ha representado la radiación global extra-atmosférica G_0 correspondiente a la latitud de 12.1°N, Managua (curva superior) y calculada a partir de la ecuación teórica:

$$G_0 = I_0 [2/15 \times W_0 \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta + 24/\pi \times \sin W_0 \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta] \quad (1)$$

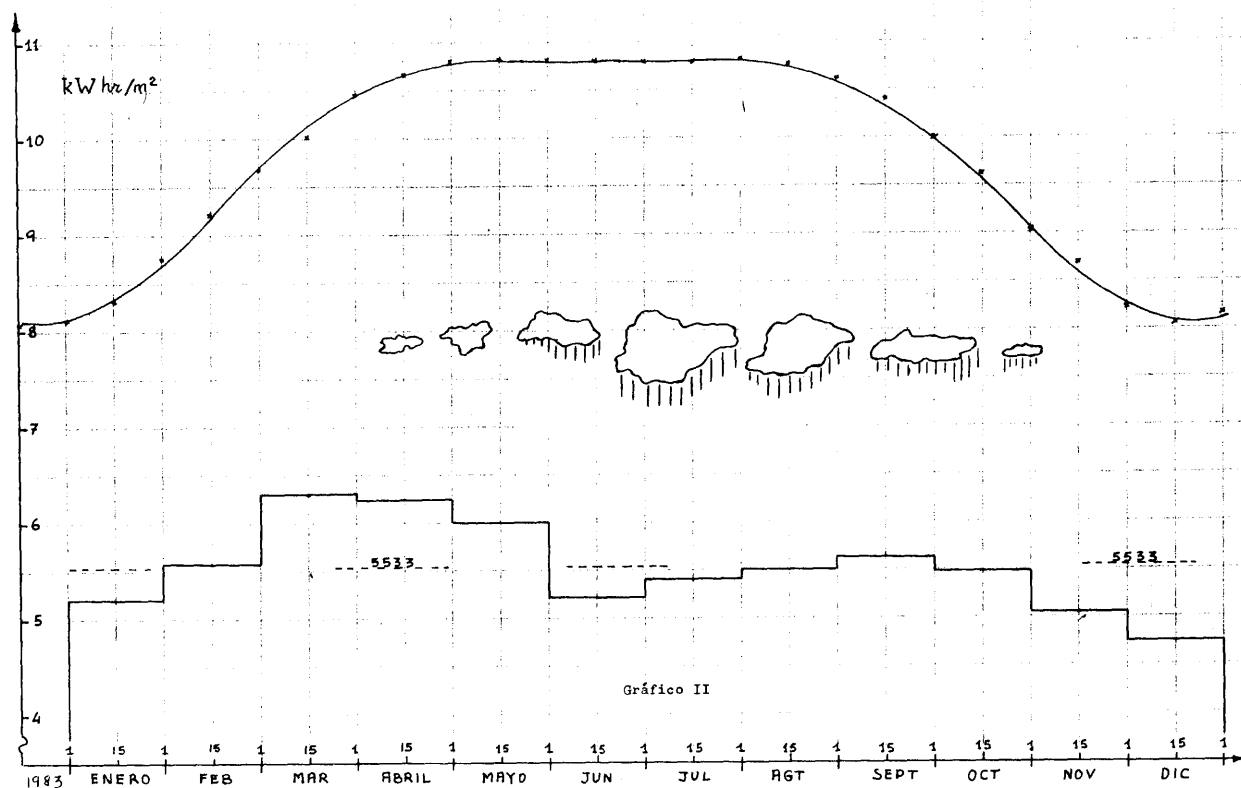
donde:

$$I_0 = \text{Constante solar, } 1370 \text{ W m}^{-2}$$

$$W_0 = \cos^{-1} (- \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta)^{\circ} \text{ hrs } (2)$$

$$\varphi = \text{ángulo de latitud}$$

$$\delta = \text{ángulo de la declinación solar, obtenida}$$



de la fórmula = $23.45^\circ \times \sin [360.$

$$(284 + n) / 365] \quad (3)$$

n = el número del día del año.

La curva se asemeja a un sombrero inglés “bombin” constante entre Abril y Septiembre, aunque en la realidad es cóncava en el centro.

Por otra parte, la curva inferior del Gráfico II representa la irradiación global medida en Vadstena, correspondiente a los valores medios mensuales de 1983.

La nubosidad creciente a partir de Abril y las lluvias del invierno tropical constituyen el componente de mayor absorción de la radiación solar, transformando la potencialidad energética superior en la realidad disponible de la curva inferior.

Con todo, es sorprendente la regularidad de la irradiación global, alrededor del valor me-

dio anual de 5533 Whr/m². día.

La Tabla II recoge la irradiación solar en sus diversos componentes principales a saber: radiación global, directa, difusa y el brillo solar, para los valores medios mensuales y anuales.

Los mismos componentes solares están representados en el Gráfico III, pero para períodos de 10 días y graficados en el día 5, 15 y 25 de cada mes; lo cual permite apreciar las variaciones sucesivas a lo largo del año, en las coordenadas geográficas de Managua.

Salta a la vista, Tabla II, la cantidad total anual de 2 M W hr/m² para la radiación global. Potencialmente, ésta es una cantidad grande, pues con un sistema convertidor de sólo el 10% de rendimiento, bastaría una superficie receptora de unos 10 Km² para disponer de la energía consumida en Nicaragua (200 MW hr).

El valor medio anual, 5533 W hr/m². día, es igualado o superado durante al menos seis me-

1983	Rad. Global			Rad. Directa			Rad. Difusa			Brillo Solar — 200		
	Valor Medio	Whr/m ² , día	Max Min	Valor Medio	Whr/m ² , día	Max Min	Valor Medio	Whr/m ² , día	Max Min	Valor Med.	hrs/ día	Max Min
Enero	5211	6153 3054		5073	7390 402		1640	2237 1039		7.72	10.45 0.67	
Feb.	5575	6542 4172		4621	7707 1281		1921	3183 1107		7.08	10.59 2.17	
Marzo	6283	7182 3632		5256	7745 239		1936	2951 1168		8.32	10.79 0.27	
Abril	6273	7192 4559		4261	6790 1213		2419	3318 1547		7.90	10.44 2.87	
Mayo	6000	7191 3521		4011	7137 1229		2448	3031 1628		8.25	9.84 2.58	
Junio	5221	6700 1812		3032	5782 14		2408	3218 1582		5.26	9.31 0	
Julio	5401	6870 1683		2995	6062 120		2568	3082 1396		5.08	10.40 0.10	
Agosto	5506	7168 1462		3674	6044 15		2253	3064 1259		5.88	10.39 0	
Sept.	5641	7055 2418		3791	7312 313		2218	2977 1413		5.86	10.25 0.53	
Oct.	5484	6833 3695		4380	7635 1330		1926	3129 1097		6.59	10.25 2.86	
Nov.	5055	6301 1765		4681	7890 14		1622	2559 818		6.96	10.15 0	
Dic.	4747	5905 1954		4741	7446 100		1548	2430 852		7.08	10.08 0.11	
Anual Valor Medio	5533 W hr/m ² , día			4210 W hr/m ² , día			2075 W hr/m ² , día			6.83 hrs / día		
Anual Total	2019.54 K W hr/m ² ,			1536.52 k W hr/m ² ,			757.58 k W hr/m ² ,			2496.12 hrs		
Valor Medio	6758 Max 2810 Min			7078 Max 523 Min			2932 Max 1242 Min			10.245 hrs max. 1.013 hrs min.		

TABLA II
ESTACION VADSTENA - Managua

ses, alcanzando su máximo entre Marzo y Mayo.

Los mínimos corresponden al “invierno tropical” con máximo descenso durante las lluvias de Junio, Julio y Agosto, así como con la declinación de la eclíptica solar ($\delta < -18^\circ$) en Noviembre, Diciembre y Enero. Gráfico II.

Para Managua el cenit corresponde a los días 22 de Abril y 21 de Agosto. Los Equinoccios se sitúan el 22 de Marzo y Septiembre respectivamente.

En la Tabla II se han incluído además los valores máximos y mínimos de cada mes.

Tomando los valores medios de estas cantidades mensuales y recorriendo las mediciones diarias a lo largo de todo el año formamos la Tabla III, correspondiente a la frecuencia de días que los componentes solares superan o descienden con respecto a estos valores medios extremos.

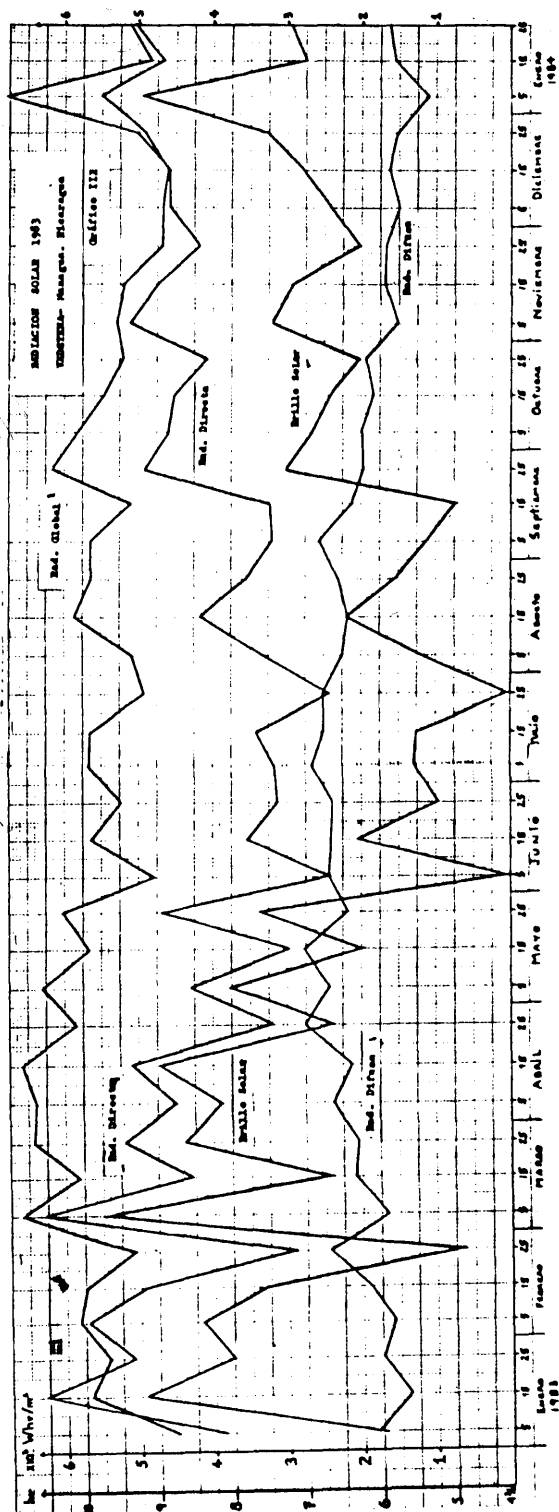
Esta información resulta valiosa para el diseño de sistemas energéticos solares.

Vemos claramente, en la Tabla III, la paridad que existe entre las columnas de la radiación directa y del brillo solar. La interrelación entre estas dos cantidades aparece muy visible en el Gráfico III y da lugar a la relación Black-Prescott (ver más adelante).

La media de los máximos es superada sólo 17 días al año (4.6%) y desciende de la media de mínimos 8 días al año (2.2%), mientras la cantidad total anual pasa de 1.5 M W hr/m², componente principal de todas las aplicaciones solares térmicas. Su valor medio llega a 4210 W hr/m². día.

Los meses entre Noviembre y Abril son los más propicios para la utilización de diseños térmicos, llegando hasta niveles energéticos de 7800 W hr/m². día durante el “verano”.

Para el “invierno” tropical la radiación di-



recta se mantiene entre 3000 y 4000 W hr/m². día. Con todo, casi todos los meses del año presentan uno o dos días con totales de radiación directa muy inferiores a 1 k W hr/m². día, como corresponde a los días de lluvias persistentes o totalmente nublados.

Mucho más constante es la radiación difusa, con un valor medio de 2075 W hr/m². día. Supera el valor medio de los máximos sólo 24 días al año (6.6%) y presenta cantidades inferiores a la media de mínimos durante 22 días anuales (6.0%).

Como 100 W/m² de radiación difusa en el piranómetro usado (CMII, Kipp y Sonen) corresponden aproximadamente a 7947 Lux, el cielo de Managua posee como término medio una iluminación celeste de:

$$2075 \times 7947 / (12 \times 100) = 13742 \text{ Lux}$$

La distribución horaria de esta cantidad, a lo largo de un día solar, se obtiene multiplicándola por las curvas normalizadas de la radiación difusa mensual.

Por otra parte, el Gráfico IV presenta los valores máximo, medio y mínimo mensuales para la radiación global; pudiéndose apreciar que durante los meses entre Junio y Septiembre las diferencias entre los extremos son máximas.

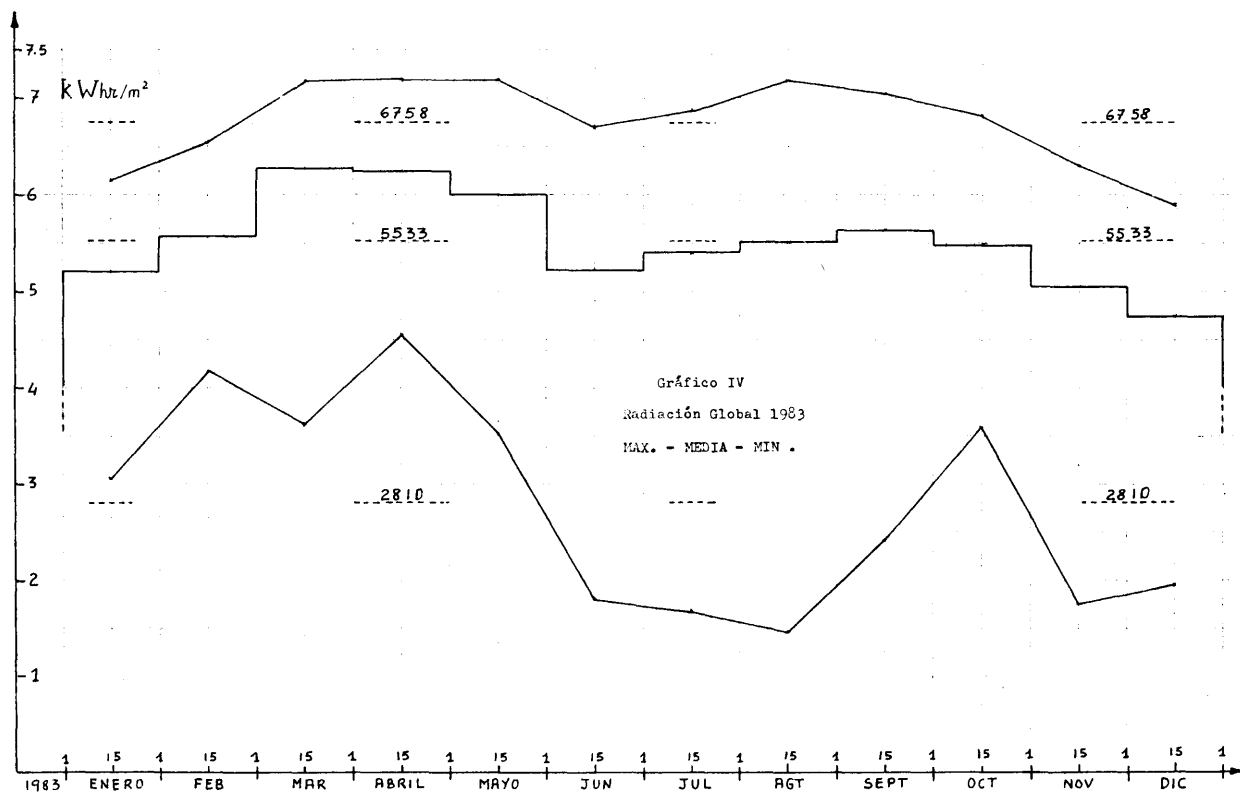
Con todo, la frecuencia de esta situación no es tan importante; ver Tabla III. Sólo 6 días al año (1.6%), la radiación global descendió por debajo del valor medio de los mínimos 2810 W hr/m². día. Y, al contrario, hubo 36 días (9.8%) en que el nivel energético superó la media de los máximos, 6758 W hr/m². día.

De estas consideraciones podemos establecer que para un día cualquiera del año 1983, el valor esperado más probable para la radiación global fue de:

$$0.98 \times 6758 - 0.016 \times 2810 + 0.886 \times 5533 = 5519.56 \text{ W hr/m}^2. \text{ día, en la práctica } 5.52 \text{ k W hr/m}^2. \text{ día.}$$

TABLE III - Frecuencia de Días

1983	Rad. Global Whr/m ² . día		Rad. Directa Whr/m ² . día		Rad. Difusa Whr/m ² . día		Grillo Solar > 200 Wh/m ² > 10,245 hr.	
	> 6758	< 2010	> 7078	< 525	> 2932	< 1242	> 10,245	< 1,013
Enero	0	0	4	1	0	0	4	1
Feb.	0	0	2	0	1	2	2	0
Marzo	12	0	5	1	1	4	5	1
Abril	0	0	0	0	0	0	1	0
Mayo	5	0	1	0	5	0	0	0
Junio	0	1	0	1	3	0	0	1
Julio	1	1	0	1	3	0	1	2
Agosto	5	1	0	1	1	0	1	1
Sept.	4	1	1	1	3	0	1	1
Oct.	1	0	1	0	1	1	2	0
Nov.	0	1	2	1	0	5	0	2
Dic.	0	1	1	1	0	4	0	1
Total Anual	36	6	17	8	24	22	17	10



3. LA RELACION BLACK-PRESCOTT.

Al observar la curva del brillo solar (nivel $\geq 200 \text{ W/m}^2$) en el Gráfico III, vemos que la podemos considerar como una curva desplazada de la correspondiente a la radiación directa y global, a pesar de tener ordenadas distintas.

Ya en 1930, Angström había notado la interrelación que se da entre el brillo solar y la radiación global. Nosotros emplearemos una relación semejante debida a Black-Prescott, a saber:

$$\frac{G}{G_0} = a_0 + b_0 \frac{S}{S_0} \quad (4)$$

donde,

G_0 = la radiación global extra-atmosférica, ecuación (1).

G = la irradiación global medida.

S_0 = horas solares del hemisferio celeste, ecuación (2) x 2/15.

S = horas solares medidas del brillo solar, nivel $\geq 200 \text{ W/m}^2$.

a_0 y b_0 = parámetros específicos locales.

La expresión (4) es importante porque permite calcular la radiación global a partir de la medición del brillo solar. El brillo solar puede medirse con relativa facilidad y con instrumentos sencillos como el actinógrafo de Campbell-Stokes, pero la radiación global exige el uso de piranómetros sensibles y por tanto más costosos.

No tiene sentido calcular a_0 y b_0 para cada día del año, pero sí aparece útil para períodos de 10 días (Gráfico III) en los que se pueden esperar una cierta uniformidad en el comportamiento de la irradiación solar.

TABLA IV

1983	días	a_0	\bar{a}_0	b_0	\bar{b}_0	a_0+b_0	$\bar{a}_0+\bar{b}_0$
Enero	1-10	0.2452	0.3325	0.5854	0.4448	0.8306	0.7773
	11-20	0.4272		0.3132		0.7404	
	21-Fin	0.3252		0.4358		0.7610	
Feb.	1-10	0.3692	0.3817	0.3868	0.3625	0.7560	0.7442
	11-20	0.3782		0.3741		0.7523	
	21-Fin	0.3976		0.3266		0.7242	
Mar.	1-10	0.3526	0.3412	0.3904	0.4094	0.7430	0.7506
	11-20	0.3186		0.4634		0.7820	
	21-Fin	0.3525		0.3745		0.7269	
Abr.	1-10	0.3863	0.3463	0.3286	0.3728	0.7149	0.7191
	11-20	0.2984		0.4366		0.7350	
	21-Fin	0.3541		0.3532		0.7073	
Mayo	1-10	0.3852	0.3405	0.3070	0.3693	0.6922	0.7098
	11-20	0.3416		0.3661		0.7077	
	21-Fin	0.2946		0.4347		0.7293	
Jun.	1-10	0.2851	0.2798	0.4683	0.4779	0.7534	0.7577
	11-20	0.3347		0.3223		0.6570	
	21-Fin	0.2197		0.6432		0.8630	
Jul.	1-10	0.3383	0.3306	0.4259	0.4307	0.7643	0.7613
	11-20	0.3892		0.3058		0.6950	
	21-Fin	0.2644		0.5603		0.8247	
Agt.	1-10	0.2143	0.2883	0.5902	0.4772	0.8046	0.7655
	11-20	0.3680		0.3399		0.7079	
	21-Fin	0.2827		0.5015		0.7841	
Spt.	1-10	0.3730	0.3340	0.3676	0.4338	0.7406	0.7678
	11-20	0.2846		0.5032		0.7879	
	21-Fin	0.3445		0.4307		0.7752	
Oct.	1-10	0.3922	0.3494	0.3340	0.3980	0.7263	0.7474
	11-20	0.3402		0.4044		0.7446	
	21-Fin	0.3157		0.4556		0.7713	
Nov.	1-10	0.2712	0.3166	0.4968	0.4375	0.7680	0.7541
	11-20	0.3416		0.4134		0.7550	
	21-Fin	0.3371		0.4023		0.7394	
Dic.	1-10	0.2778	0.3157	0.5003	0.4316	0.7781	0.7473
	11-20	0.3141		0.4119		0.7259	
	21-Fin	0.3552		0.3826		0.7378	
AÑO			0.3297		0.4205		0.7502

La Tabla IV resume el cálculo de a_0 y b_0 para 1983. Para cada 10 días se han tomado 10 pares de coordenadas ($x_i = G_i/G_{oi}$ y $y_i = S_i/S_{oi}$) y se ha calculado la línea de regresión correspondiente que contiene a_0 y b_0 . Además se ha incluido en la Tabla IV la suma ($a_0 + b_0$) y los valores medios respectivos de cada mes.

Vemos que a_0 se mantiene entre 0.28 y 0.38, mientras b_0 varía entre 0.36 y 0.48 y la suma entre 0.71 y 0.78. Los valores medios anuales son de 0.33 para a_0 , 0.42 para b_0 y para la suma 0.75, de acuerdo con los valores indicados por Black-Prescott.

Será necesario continuar obteniendo durante otros cinco años, los valores de a_0 y b_0 ; con el objetivo de poder calcular sus correspondientes valores estadísticos y utilizarlos en el diseño de bloques energéticos solares.

Resulta interesante ver ya la aplicación de la expresión (4), cuando se toman los valores medios mensuales, porque a partir de la sola medida mensual \bar{S} , se calcula la radiación global media del mes, \bar{G} .

Así, para Enero de 1983, tenemos:

$$\bar{G}_{\text{mens}} = \bar{G}_{0 \text{ mens}} (\bar{a}_0 + \bar{b}_0 \times \bar{S}_{\text{mens}} / \bar{S}_{0 \text{ mens}}) \quad (5)$$

$$\bar{a}_0 = 0.3325, \bar{b}_0 = 0.4448 \text{ (Tabla IV)}$$

$$\bar{S}_{0 \text{ mens}} = 11.4056 \text{ hrs/día, } \bar{S}_{\text{mens}} = 7.72 \text{ hrs/día (Tabla II)}$$

$$\bar{G}_{0 \text{ mens}} = 8.3 \text{ K Whr/m}^2 \cdot \text{día a partir de ecuación (1)}$$

Introduciendo los valores en (5) obtenemos la cantidad de 5258 W hr/m² · día, mientras la Tabla II nos da 5211 W hr/m² · día para el mes de Enero (error del 9%).

De modo semejante, podemos repetir la operación para el mes de Julio, típico del “invierno tropical” y calculamos para G_{mens} el valor de 5444 K Whr/m² · día, mientras la Tabla II nos da 5401 Whr/m² · día (error del 8%).

4. FRECUENCIAS DE NIVEL ENERGETICO SOLAR.

A. Radiación Global.

Las frecuencias de los niveles energéticos, para la radiación global por mes y por año 1983, están contenidas en la Tabla V y representadas en el Gráfico V las horas totales.

Por tanto, el área representa un valor conservador de la energía anual correspondiente a la irradiación global en Managua, ($\sim 2 \text{ M W hr/m}^2$). El valor estimado a partir del área es conservador, porque los rangos de nivel representan cantidades iguales o inferiores a la realidad medida.

Si en el Gráfico V, apartamos la columna de la izquierda, nivel de 0 – 49 Whr/m² y el de la derecha, nivel 1000 Whr/m² nos queda un gráfico con una cumbre muy aplanada; de modo que en la práctica hay casi una constante frecuencia 400 – 500 hrs para todos los rangos de nivel entre 100 y 800 W hr/m² inclusive.

Por tanto, podemos decir que cada día del año se ha podido esperar o ha habido al menos una hora y once minutos para cada rango de nivel entre 100 y 800 W hr/m².

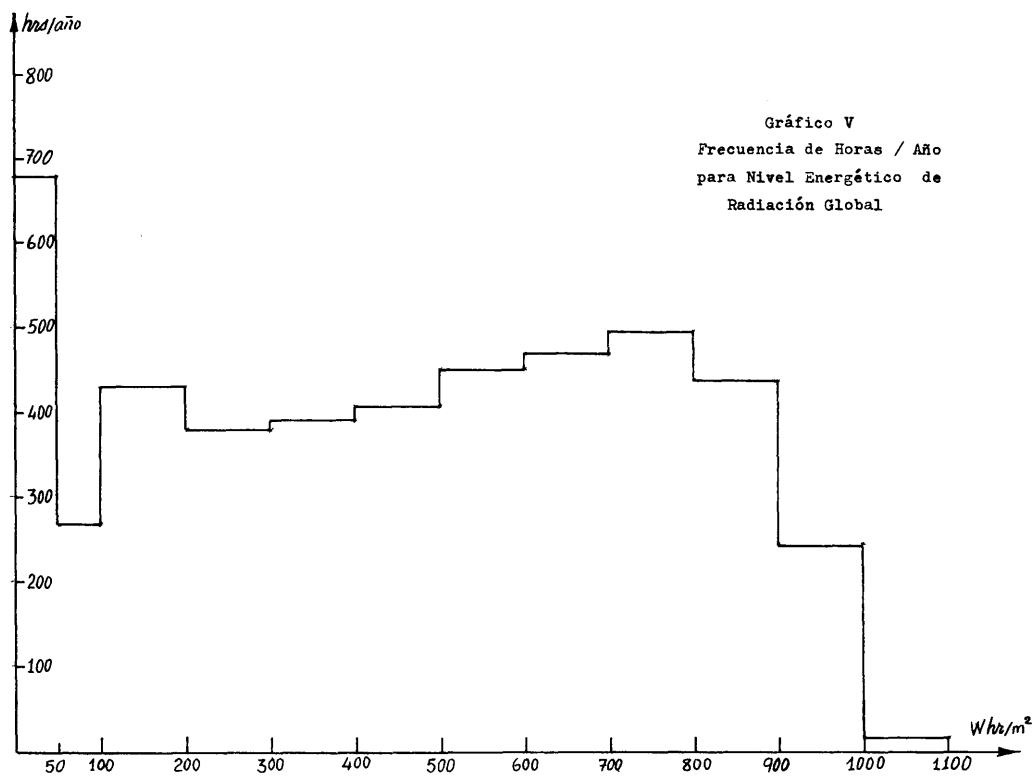
Pero el diseñador de un sistema energético solar necesita una información más de acuerdo con la realidad de cada día y estación del año. Por eso, se han incluido los Gráficos 6, 7, 8, 9, que agrupan trimestralmente las sumas de frecuencias a partir de la Tabla V. Se ha procurado agrupar los meses de acuerdo a las dos estaciones tropicales de “verano e invierno”.

Para cada uno de los Gráficos 6 - 7 - 8 - 9, se

RADIACION GLOBAL - 1983 FRECUENCIAS

W hr/ m ² .mes	<u>ENE</u>	<u>FEB</u>	<u>MAR</u>	<u>ABR</u>	<u>MAY</u>	<u>JUN</u>	<u>JUL</u>	<u>AGT</u>	<u>SEP</u>	<u>OCT</u>	<u>NOV</u>	<u>DIC</u>	Σ hrs/año
0-49	63	46	28	60	54	60	60	61	74	70	63	41	680 hrs.
50-99	9	17	44	12	13	16	34	30	20	23	16	35	269
100-199	23	20	18	34	41	34	50	47	36	48	50	30	431
200-	45	44	49	29	29	29	27	26	23	14	25	40	380
300-	26	13	16	29	34	29	44	39	30	41	52	37	390
400-	55	41	23	27	40	27	33	36	31	30	16	48	407
500-	25	26	46	35	35	35	40	40	36	40	52	40	450
600-	48	42	27	33	52	33	35	36	40	41	31	51	469
700-	43	31	44	41	42	42	50	43	38	43	44	33	494
800-	38	38	38	54	44	53	28	26	34	33	33	18	437
900-	1	20	50	34	19	34	14	22	26	21	2	0	243
$\geq 1000-$	0	0	4	2	1	2	0	4	4	0	0	0	17
Σ hrs/mes	376	338	387	390	404	394	415	410	392	404	384	373	4667hrs.

TABLA V.



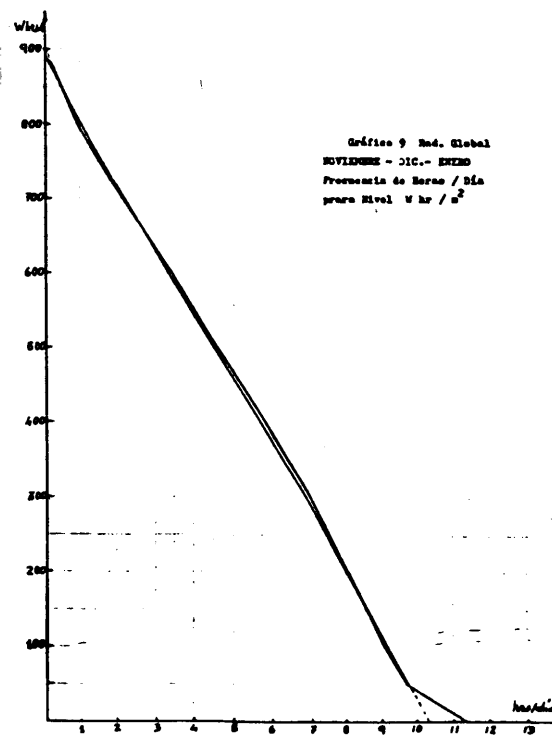
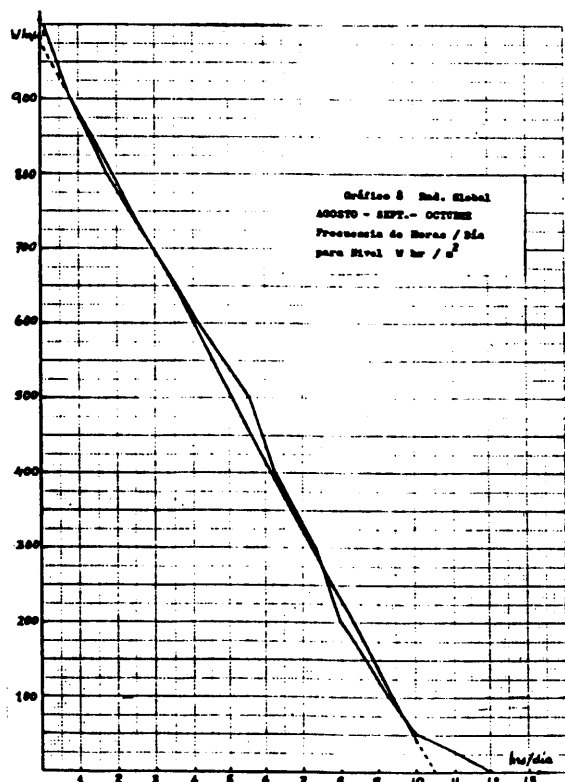
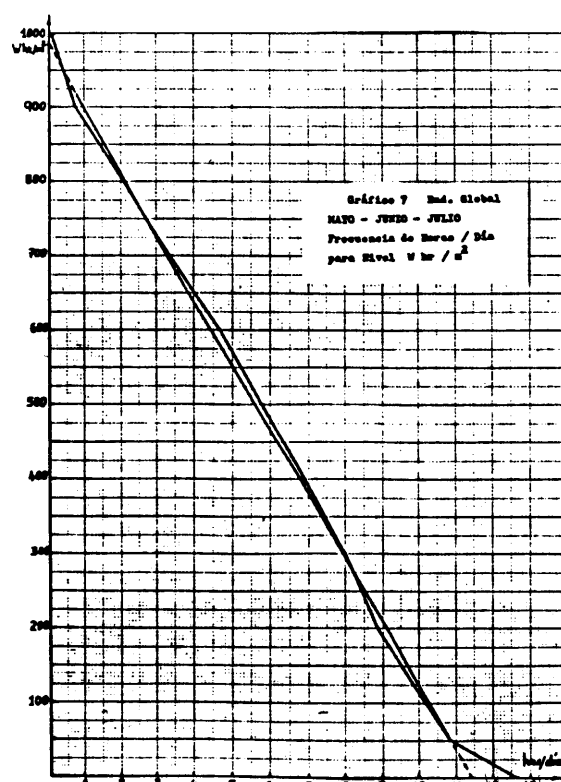
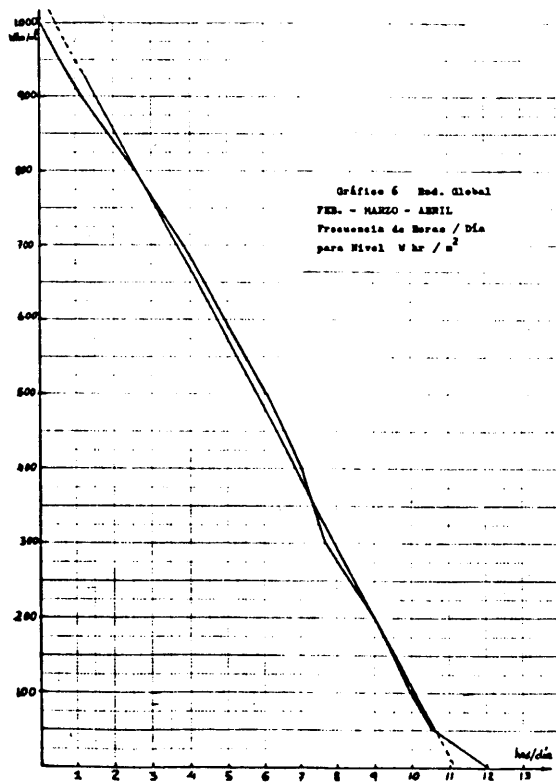


TABLA VI. RADIACION GLOBAL

	2 hrs/día con nivel W hr/m ²	4 hrs/día con nivel W hr/m ²	6 hrs/día con nivel W hr/m ²	8 hrs/ día con nivel W hr/m ²	Total Diario W hr/m ²
Feb. Mar. Abr.	857	669	482	294	6044
May. Jun. Jul.	812	639	465	294	5541
Agost. Sept. Oct.	788	601	415	229	5544
Nov. Dic. Enr.	720	548	375	202	5004

ha calculado y trazado la línea de regresión, no teniendo en cuenta las frecuencias correspondientes a los niveles extremos; y en todas ellas la correlación calculada es > -0.99 .

A partir de estos cuatro gráficos obtenemos la Tabla VI, apoyándonos en la línea de regresión.

B. Radiación Difusa.

La información sobre la radiación difusa y la distribución de frecuencias es de interés para los arquitectos en el diseño de edificios públicos, fábricas y viviendas.

Según el Gráfico III, las variaciones del nivel de la radiación difusa no son tan pronunciadas como para los otros componentes de la radiación solar, aún en períodos de diez días.

Por tanto, nos ha parecido bien agrupar en

cuatrimestres las frecuencias de los diferentes niveles, procurando mantener separadas las dos estaciones tropicales.

La Tabla VII contiene las frecuencias de los diferentes rangos energéticos que se diferencian en 50 Whr/m² y vemos que al cuatrimestre Julio-Octubre corresponde una mayor frecuencia en los niveles más altos.

La frecuencia total anual para cada rango de nivel ha sido representada en el Gráfico X; donde a partir del nivel 100 Whr/m² en adelante, el gráfico muestra un decrecimiento progresivo y casi gradual.

A partir de la Tabla VII para cada cuatrimestre, se ha calculado la línea de regresión; encontrándose una correlación > -0.99 . La Tabla VIII se ha formado con las líneas de regresión.

FRECUENCIAS TABLA VII RAD. DIFUSA

W_{hr}/m^2 -meses	Nov-Dic Ene-Feb	Mar-Abr May-Jun	Jul-Agt Sep-Oct	Σ hrs/año
0-49	282 hrs	262 hrs	304 hrs	848 hrs
50-99	250	156	233	639
100-149	370	244	212	826
150-	235	249	216	700
200-	151	232	235	618
250-	101	204	177	482
300-	47	123	112	282
350-	23	68	79	170
400-	10	31	39	80
450-	1	7	12	20
500-	0	0	3	3
550-	0	0	0	0
Σ hrs/meses	1470 hrs	1576 hrs	1622 hrs	4668 hrs

TABLA VIII RAD. DIFUSA

	2 hrs/día con nivel W_{hr}/m^2	4 hrs/día con nivel W_{hr}/m^2	6 hrs/día con nivel W_{hr}/m^2	8 hrs/día con nivel W_{hr}/m^2	Total Diario
Nov. - Dic. Ene. - Feb.	223	173	125	77	1683 Whr/m^2
Mar. - Abr. Mayo - Jun.	300	240	180	122	2303 Whr/m^2
Jul. - Agt. Sept. - Oct.	300	235	170	105	2241 Whr/m^2

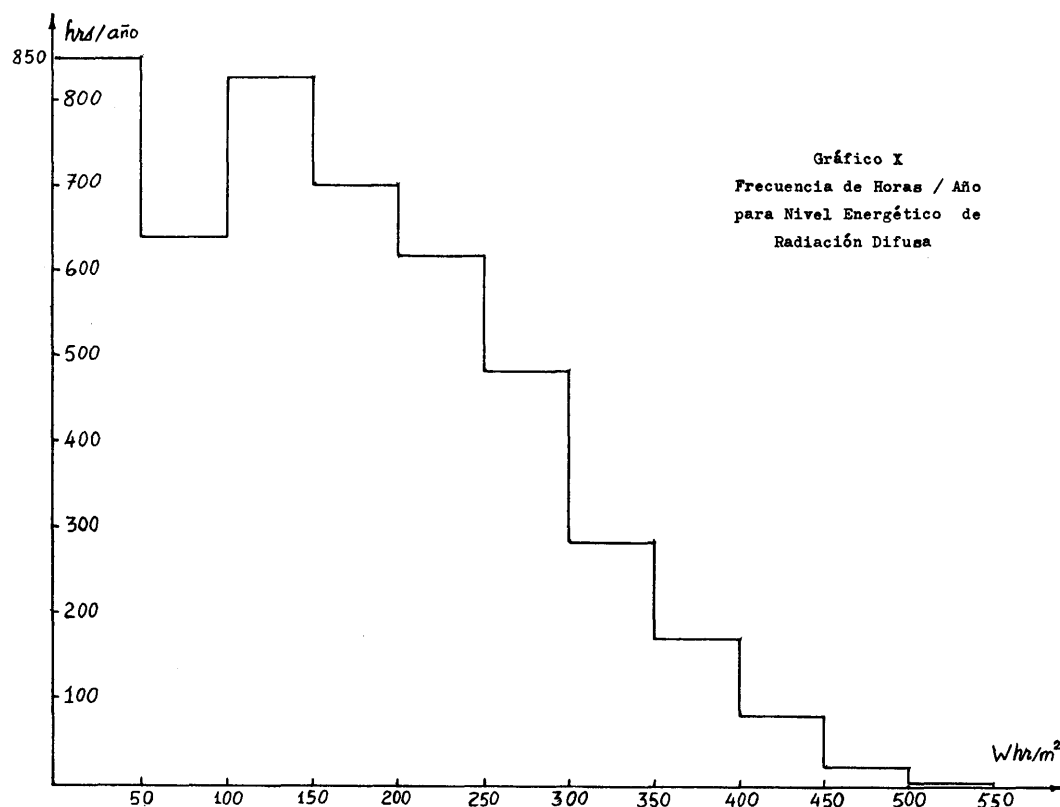


Gráfico I
Frecuencia de Horas / Año
para Nivel Energético de
Radiación Difusa

C. Radiación Directa.

La medición de la radiación directa solar se hace por medio de un piroheliómetro que rastrea el curso del sol a lo largo del día y del año.

A diferencia de las radiaciones global y difusa, que de ordinario se miden sobre superficies horizontales, la radiación directa se recibe sobre una superficie perpendicular a los rayos solares y colocada sobre una montura ecuatorial. Razón por la cual, dicha superficie debe tener un movimiento rotativo.

Como la tierra recorre la eclíptica solar en su curso anual, al variar el ángulo de declinación solar δ , entre $\pm 23.45^\circ$, los días tienen un transcurso más o menos largo de horas solares. Así pues, el período solar de cada día depende del valor de δ y de las coordenadas geográficas del lugar considerado.

Estas consideraciones han sido tenidas en cuenta al formar la Tabla IX cuya última fila indica las máximas horas posibles del sol para cada mes.

En Managua, las horas solares varían entre un mínimo de 11 hrs. 17 mts. y 12 hrs. 43 mts., correspondiente a los solsticios de invierno y verano.

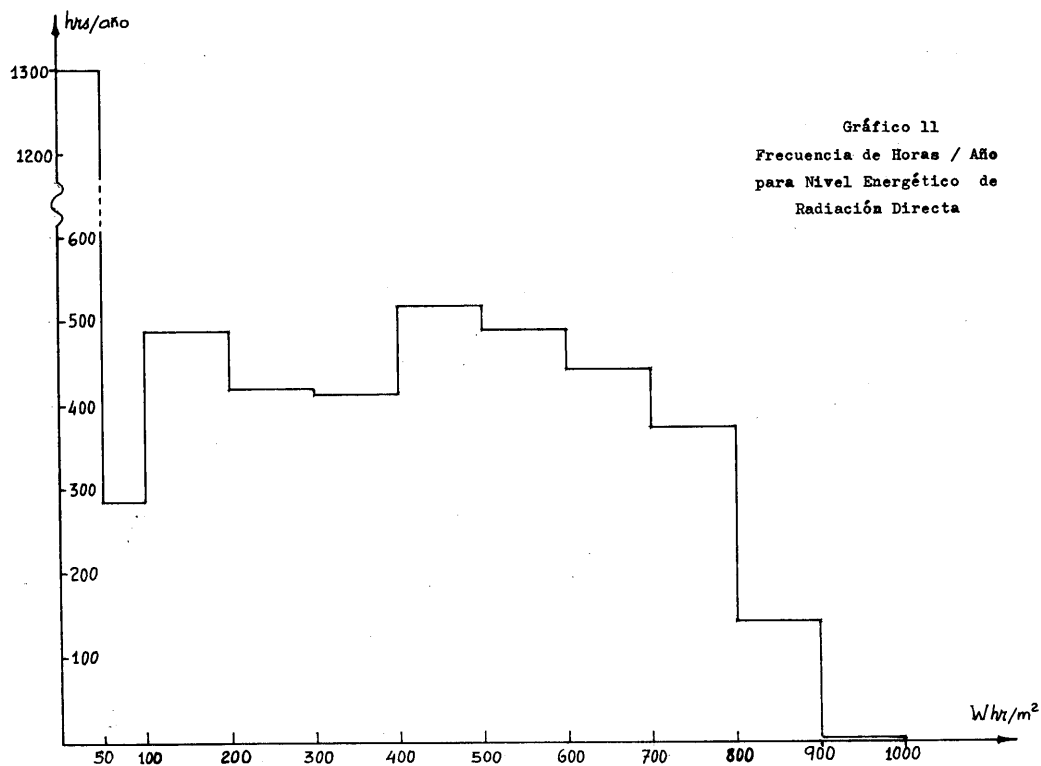
En la Tabla IX vemos que durante 1983, sólo una vez y hora se alcanzó el nivel energético de 900 W hr/m^2 . Curiosamente ocurrió durante Noviembre (día 7) y seguramente correspondió a un día de cielo muy limpio y sin nubes a elevadas alturas atmosféricas.

Este hecho contrasta con la Tabla V, donde la frecuencia de la radiación global superó ese mismo nivel energético durante 243 horas y el nivel de 1 k W hr/m^2 en 17 horas.

RADIACION DIRECTA - FRECUENCIAS

1983	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGT	SEP	OCT	NOV	DIC	Σ hrs
0-49	60	81	73	105	105	153	168	146	129	111	103	64	1298
50-99	36	31	16	23	26	32	24	21	20	22	16	17	284
100-199	36	38	46	42	43	53	50	48	36	29	28	39	488
200-	18	19	27	43	55	45	42	36	34	34	34	31	418
300-	38	26	19	41	51	31	49	45	23	35	29	25	412
400-	39	46	52	59	66	42	36	36	36	31	31	41	515
500-	39	24	47	53	44	34	38	50	32	44	34	48	487
600-	43	37	41	26	33	20	20	32	42	43	53	50	440
700-	55	32	52	26	10	10	7	20	36	43	41	39	371
800-	26	30	30	2	1	0	0	0	2	11	20	18	140
900-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Σ hrs/mes	390	364	403	420	434	420	434	434	390	403	390	372	4854 hrs/año

TABLA IX



También llama la atención, al descontar las horas con nivel inferior a 50 W hr/m^2 , que para la radiación directa hubo 3556 hrs con nivel $\geq 50 \text{ W hr/m}^2$, mientras para la radiación global se llegó a una frecuencia de 3987 hrs (Tabla V) para ese mismo rango de niveles.

Aquí vemos la influencia de la masa de aire atmosférico y del vapor de agua sobre los componentes de radiación solar en el amanecer y atardecer del día.

Si nos fijamos en la frecuencia de horas para el rango $700\text{--}800 \text{ W hr/m}^2$, observamos un descenso notable durante los meses de Mayo, Junio y Julio, propios del "invierno tropical", lo cual no aparece tan claro en la Tabla V para la radiación global y dentro del rango $900\text{--}1000 \text{ W hr/m}^2$.

La última columna de la Tabla IX está re-

presentada en el Gráfico 11, donde las frecuencias horarias de los distintos niveles energéticos a lo largo de 1983 suman un total de 1.5 M W hr/m^2 . También aquí se da una casi constante frecuencia anual de 400 hrs para todos los niveles entre $100\text{--}700 \text{ W hr/m}^2$, correspondiendo diariamente una hora y seis minutos para cada nivel en dicho rango.

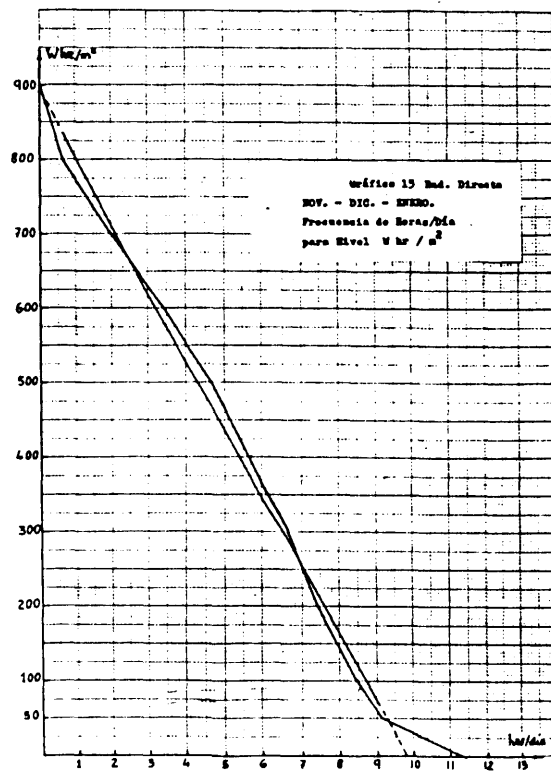
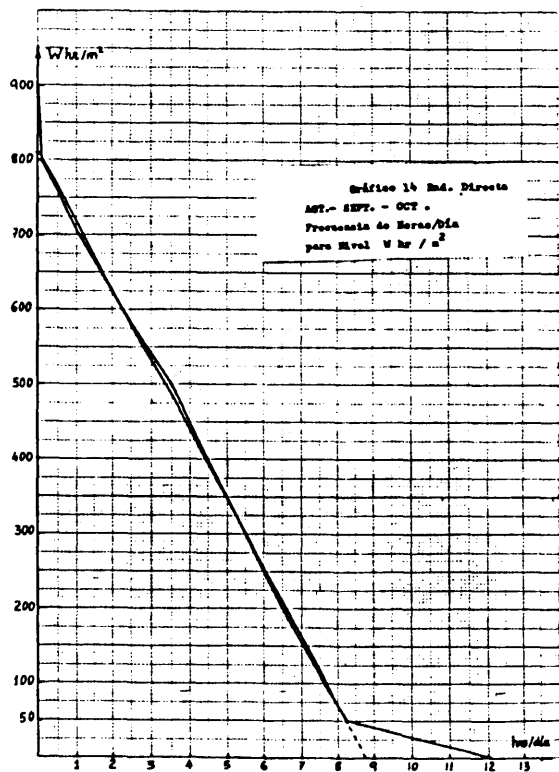
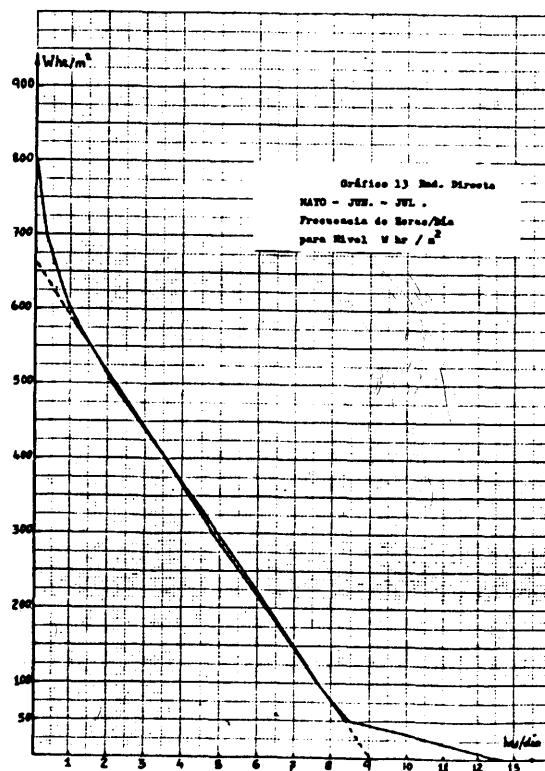
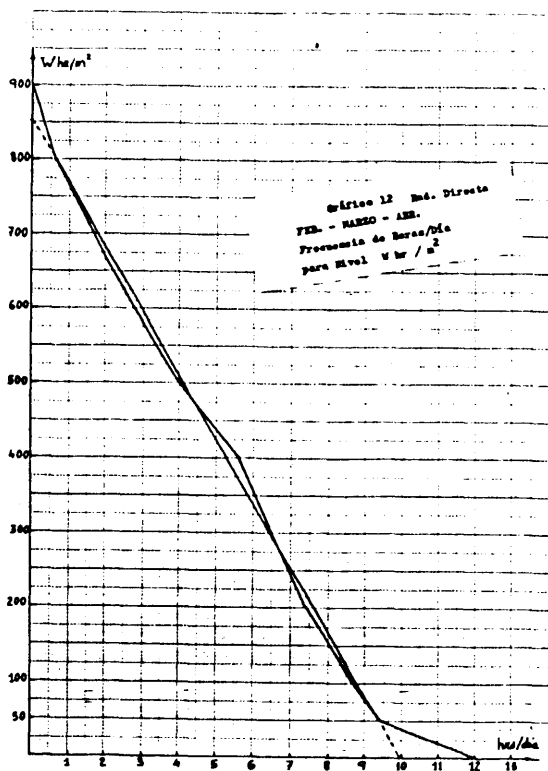
Con objeto de facilitar el diseño de sistemas térmicos solares, los Gráficos 12, 13, 14 y 15 agrupan trimestralmente las sumas de frecuencias a partir de la Tabla IX.

Para cada gráfico se ha calculado y trazado la línea de regresión, habiendo despreciado las frecuencias de los niveles extremos. Aquí también para todas ellas la correlación es > -0.99 .

Con la ayuda de la línea de regresión se obtiene la Tabla X.

TABLA X RAD. DIRECTA

	2 hrs/día con nivel W hr/m^2	4 hrs/día con nivel W hr/m^2	6 hrs/día con nivel W hr/m^2	8 hrs/día con nivel W hr/m^2	Total Diario W hr/m^2
FEB MAR ABR	680	508	336	165	4713
MAY JUN JUL	515	368	221	74	3346
AGT SEP OCT	624	439	255	70	3948
NOV DIC ENR	710	527	345	162	4832



RESULTADOS

ZONA DEL PACIFICO

RADIACION GLOBAL

	OCOTAL	CHINANDEGA	MANAGUA	S. CARLOS
Anual KWhr/m ²	2022.17	1958.80	2019.54	1646.27
Media Diaria Whr/m ²	5540	5367	5533	4510

VADSTENA, MANAGUA

a. Radiación

	Red. Global	Rad. Directa	Rad. Difusa	Brillo Solar $\geq 200 \text{ W/m}^2$
Anual KW hr/m ²	2019.54	1536.52	757.58	2496.12hrs.
Media Diario Whr/m ²	5533	4210	2075	6.83hrs

b. Relación Black-Prescott

$$\bar{a}_0 = 0.3297 \quad \bar{b}_0 = 0.4205 \quad \bar{a}_0 + \bar{b}_0 = 0.7502$$

c. Frecuencias: hrs/año con nivel:

	$\geq 50 \text{ Whr/m}^2$	$\geq 200 \text{ Whr/m}^2$	$\geq 400 \text{ Whr/m}^2$	$\geq 600 \text{ Whr/m}^2$	$\geq 800 \text{ Whr/m}^2$
Rad. Global	3987 hrs	3287	2517	1660	697
Rad. Difusa	3820 hrs	1655	103	0	0
Rad. Directa	3556 hrs	2784	1954	952	141

CONCLUSIONES

El monto anual de 2 MWhr/m^2 para la radiación global media en Ocotal, Chinandega y Managua, así como las pequeñas variaciones entre los valores medios mensuales en esas tres localidades, indican que pasa por ellas una curva equipotencial de nivel energético solar.

San Carlos parece situarse sobre una curva de nivel que se desplaza hacia los departamentos de Rivas y Chontales; para poderla precisar mejor será necesario contar con la información solar de la nueva estación a instalarse en El Rama.

La constancia del nivel energético solar en Managua, asegura la cantidad de 5.52 KWhr/m^2 . día como el valor medio más probable para la ra-

diación global. La distribución de las frecuencias de los niveles energéticos tanto para la radiación global como para la directa son muy semejantes, si bien en valor absoluto las frecuencias anuales de la radiación directa son un 20 % in-

feriores a las correspondientes de la radiación global.

El cielo de Managua produce una iluminación ambiental de aproximadamente 25.76 k Lux al mediodía.

BIBLIOGRAFIA

Handbook of Meteorology:

Part VI —Radiation Instruments and Measurements—Pergamon Press—London—1958

Thorntwaite:

Informe Climatológico — Nicaragua
1954 — 1973

International Energy Agency:

An Introduction to Meteorological
Measurements and Data Handling for

Solar Energy Applications

DOE/ER-0084—U.S. Depart. Energy, 1980.

World Meteorological Organization:

Meteorological Aspects of the Utilization
of Solar Energy as an Energy Source —
WMO—No.557. Geneva, 1981.

J. López de la Fuente:

Reporte No. 07/83
Radiación Solar en Managua
UCA—1983.

AGRADECIMIENTO

El presente reporte ha sido posible gracias a la Agencia Gubernamental Sueca de Cooperación Científica (SÄREC), la cual a través del Instituto Sueco de Meteorología e Hidrología (SMHI) presta ayuda tecnológica al Departamento de Fuentes No-Convencionales de Energía del Instituto Nicaragüense de Energía (INE).

Mediante el mutuo acuerdo firmado en Diciembre 1983 entre la UCA y el INE, éste construyó una Oficina de radiación solar, la estación Vadstena.

Han colaborado en el mantenimiento de la Estación Sergio Torres (INE) a quien se debe la recopilación de datos y César Robelo (UCA)

quien aportó los cálculos.

El director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Adolfo López de la Fuente, S.J. contribuyó con sus constantes consideraciones en radiación solar.

Finalmente agradecemos a la Dirección de Planificación y Proyectos de la UCA el interés mostrado por la investigación.

Julio López de la Fuente, S.J.
Director Ingeniería Electrónica
UCA—MANAGUA
Julio, 1984